不同土地利用方式对河北坝上步甲物种多样性的影响

王建芳, 王新谱*, 李秀敏, 刘桂霞
(河北大学生命科学学院, 河北省无脊椎动物系统学与应用重点实验室, 河北保定 071002)

摘要: 为了探讨土地利用方式对步甲物种多样性的影响及其与环境因子的关系, 于2009年5-10月利用巴氏罐法, 对河北坝上塞北管理区内的灌草丛、马铃薯地、苜蓿地、围封草地、中度放牧草地和重度放牧草地6种生境的步甲进行了系统调查。结果表明: (1)共捕获步甲标本10 804号, 计10属18种, 其中强足通缘步甲 *Pterostichus fortipes*、侧步甲 *Carabus latreillei* 和双斑猛步甲 *Cymindis binotata* 占优势, 个体数分别占总数的67.5%, 7.53%和7.06%。(2)苜蓿地中的步甲密度、物种丰富度、Margalef丰富度指数、Shannon-Wiener多样性指数和均匀度指数均较高, 其他样地较低。(3)聚类分析结果显示, 不同生境的步甲群落相似性与受干扰强度和土地利用方式一致。(4)步甲主要在6-9月活动, 高峰期为7-8月。各物种在不同土地利用方式生境内的季节变化趋势与不同生境植被生长季节相关, 步甲个体数量随着植物生物量的增加而增加。强足通缘步甲 *Pterostichus fortipes* 高峰期大多出现在植物生长旺盛的7月, 仅围封草地内的高峰出现在8月; 双斑猛步甲 *Cymindis binotata* 的高峰期出现在8-9月。(5)典范对应分析表明, 土壤含水量、土壤温度、植物盖度、植物生物量及植株高度是影响步甲群落组成的重要环境因子。结论认为, 不同土地利用方式对环境的干扰影响了步甲赖以生存的生境, 进而影响了其物种的组成和数量分布格局。

关键词: 步甲; 物种多样性; 群落; 生境; 土地利用方式
中图分类号: Q968.1　**文献标识码**: A　**文章编号**: 0454-6296(2010)10-1127-08

Influence of land uses on species diversity of carabid beetles (Coleopeta, Carabidae) in Bashang region, Hebei, Northern China

WANG Jian-Fang, WANG Xin-Pu*, LI Xiu-Min, Liu Gui-Xia (College of Life Sciences, Hebei University, Key Laboratory of Invertebrate Systematics and Application of Hebei Province, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract: To study the species diversity pattern of carabids and its relation with environment factors in different ways of land use, systematic investigation of carabid beetles were conducted from May to October in 2009 by pitfall traps in Saibei Administrative Region, Hebei Province, Northern China. Carabid beetles caught from six habitats of different land uses, *i. e.*, shrub-meadow, potato land, clover field, enclosed meadow, moderately grazed meadow and heavily grazed meadow, were identified and analyzed. The results showed that a total of 10 804 carabid beetles were collected, belonging to 10 genera and 18 species. Among all collected specimens, *Pterostichus fortipes*, *Cymindis binotata* and *Carabus latreillei* accounted for 67.5%, 7.53% and 7.06% of total specimens, respectively. The highest density of carabids was found in clover field, followed by potato field, and the lowest density in heavily grazed meadow. As to clover field, there was almost no disturbance, and the species richness, Margalef richness index, Shannon-Wiener diversity index and the evenness index of carabids were higher in clover field than other ones. The result of clustering analysis showed that the similarity of beetle community in different habitats accords with interference strength and land use patterns. Beetles seasonal activities were mainly from June to September, and peaked in July and August. Various species in different land use patterns have different seasonal trends. The number of carabid individuals increased with the plant biomass. *Pterostichus fortipes* mostly reached a peak in July when plants grow in luxuriance, except that the peak within the enclosed meadow appeared in August; *Cymindis binotata* peaked in 8 - 9 months. Canonical corresponding analysis indicated that the soil moisture, soil temperature, plant cover, plant biomass and plant height were important environmental factors in carabid

基金项目: 国家"十一五"科技支撑项目"草地生态恢复与草畜平衡关键技术研究"(2006BAD16B01)
作者简介: 王建芳, 女, 1978年8月生, 河北张家口人, 硕士研究生, 从事昆虫多样性研究, E-mail: wangjianf2006@163.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: wangxinpu@yahoo.com.cn
收稿日期 Received: 2010-05-23; 接受日期 Accepted: 2010-09-15

community composed. The results suggest that the disturbance of different land uses influenced the environments where carabid beetles survived, and then influenced the species composition and quantity distribution pattern.

Key words: Carabid beetles; species diversity; community; habitat; land use

河北坝上地处北方农牧交错带中段，是国际上比较关注的陆地生物多样性关键地区(陈灵芝，1993)，该区域在农业生产中具有多样的土地利用方式(徐东瑞等，2006)，但由于气候变化和人为不合理干扰，区域生态环境变得越来越脆弱，土壤沙化、草场退化和水资源短缺等诸多生态问题越来越突出。

步甲分布广泛，是森林、农田和草原害虫的重要天敌(Brust *et al*., 1986)，在保护森林、农田、草原免受虫害及增产增收方面具有重要作用。更为重要的是，步甲的物种组成和数量变化常被用来监测生态环境的质量及变化趋势，是重要的生态指示类群(Lövei and Sunderland, 1996; Rainio and Niemlä, 2003)。近年来，步甲物种分布与环境之间的关系受到广泛关注，许多研究发现，景观、林相、土壤、演替阶段、斑块化程度及人为活动等因素对步甲的分布、行为和活动规律产生重要影响(Lenski, 1982a, 1982b; Jennings *et al*., 1986; 于晓东等，2002)。我国对步甲多样性研究侧重于森林、农田和湿地等生态环境。于晓东等(2001)和周红章等(2000)以地表甲虫为研究对象，在我国一些林区持续开展了物种多样性研究，发现海拔和干扰程度决定了甲虫的种类和分布，不同生境内甲虫的数量分布有显著差异。胡敦孝等(1998)认为常规农田管理对步甲、蜘蛛多样性有影响。王玉等(2009)认为，土壤含水量、植物盖度和生物量对湿地甲虫群落的组成特征具有重要影响。

土地利用方式的变化将直接影响到生态系统的结构及组成，对整个生态系统的功能产生影响(李昌峰等，2002)。研究土地利用方式的变化对步甲群落组成、数量分布和季节动态的影响，将有助于了解不同土地利用方式对物种种群的影响，揭示物种与环境间的关系，也可为当地的生态环境建设提供优化的土地利用模式参考，促进生态恢复及生物多样性和环境保护工作，具有理论和现实意义。

1 样地概况

塞北管理区(N: 41°51′~41°02′, E: 115°48′~115°52′)地处内蒙古高原南缘，河北省沽源县北部坝上高原。该区域地势平坦，具有疏缓丘陵、波状高原的地貌，平均海拔 1 358 m，年均气温 1.4℃，≥10℃的年积温 1 513.1 度·日，无霜期 100 d 左右，年均降雨量 297 mm，降雨主要集中在 7-9 月，土壤类型主要为栗钙土和草甸土。近年来，该地区的土地利用方式由以放牧为主转变为以农耕为主，土地利用的强度加剧，长期的重用轻养使土壤有机质下降。受特殊的自然环境、气候和历史等方面的因素影响，这里不但有大面积不同干扰程度的原生态草场，还有大面积的灌草丛地、农垦地和人工草地。本研究根据塞北管理区的具体情况选取了 6 种土地利用方式的生境，分别为灌草丛、马铃薯地、苜蓿地、围封草地、中度放牧草地和重度放牧草地。以上利用方式的土地约占当地农牧业用地的 70%，具有一定的代表性。

灌草丛：2000 年种植的山杏 *Siberian apricot* 和俄罗斯沙棘 *Hippophae rhamnoides*，面积大约 150 hm^2，其下的天然草地主要植物群落为羊草 *Leymus chinensis*，土质为沙土；偶有牲畜进入；盖度约 60%。

马铃薯地：由于马铃薯在该地区种植广泛，本研究农耕地选择在马铃薯地中进行；该地距灌草丛 600 m 左右，面积约为 6.5 hm^2。4 月底播种，9 月下旬收获；盖度约 90% ~100%。

苜蓿地：人工草地，2007 年由天然草地翻犁后种植的 33.5 hm^2 紫花苜蓿 *Medicago sativa*，每年刈割 2 次，伴生种为瓣蕊唐松草 *Thalictrum petaloideum*、车前 *Plantago asiatica*、委陵菜 *Herba potentillae* 等；全年围封，盖度约 80% ~100%。

围封草地：2003 年开始围封至今，面积为 13.3 hm^2，主要植物群落为羊草、冰草 *Agropyron cristatum*、糙隐子草 *Cleistogenes squarrosa*，伴生种主要为南牡蒿 *Artemisia eriopoda*、猪毛蒿 *Artemisia scoparia*、艾蒿 *Aremisia argyi* 等 10 种左右；全年围封，盖度约 80%。

中度放牧草地：大约 53.5 hm^2 的原生态天然草地，夏秋季围封，冬春季放牧；主要植物群落为禾草群落和南牡蒿群落，伴生种主要为风毛菊 *Saussurea japonica*、委陵菜、苦买菜 *Ixeris sonchifolia*、女娄菜 *Silene aprica*、红柴胡 *Bupleurum scorzonerifolium*、麻花头 *Serratula centauroides* 等 20 多种；盖度约 70% ~90%。

重度放牧草地：大面积的原生态天然草地，主要植物群落为委陵菜、二裂委陵菜 *Potentilla bifurca*、萹

蓄豆 *Pocockia ruthenia* 群落，伴生种主要为马蔺 *Iris ensata*、芨芨草 *Achnatherum splendens*、风毛菊等 30 多种；一年四季都放牧牛、羊等牲畜；盖度约 75%。

2 研究方法

2.1 标本的采集

根据上述土地利用方式生境的不同，共设立 6 条样带(图 1)。为了避免边界效应，样带间距一般在 1 km 以上。先在样带内随机选一点，分别在其东南西北各设 1 个采样点，每个样方共 5 个采样点，采样点间距 5 m，样方面积 50 m^2；样方从南至北或自东向西依次排列，每种土地利用方式设 5 个样方，分别为I, II, III, IV和V，样方间距 200 m 左右。

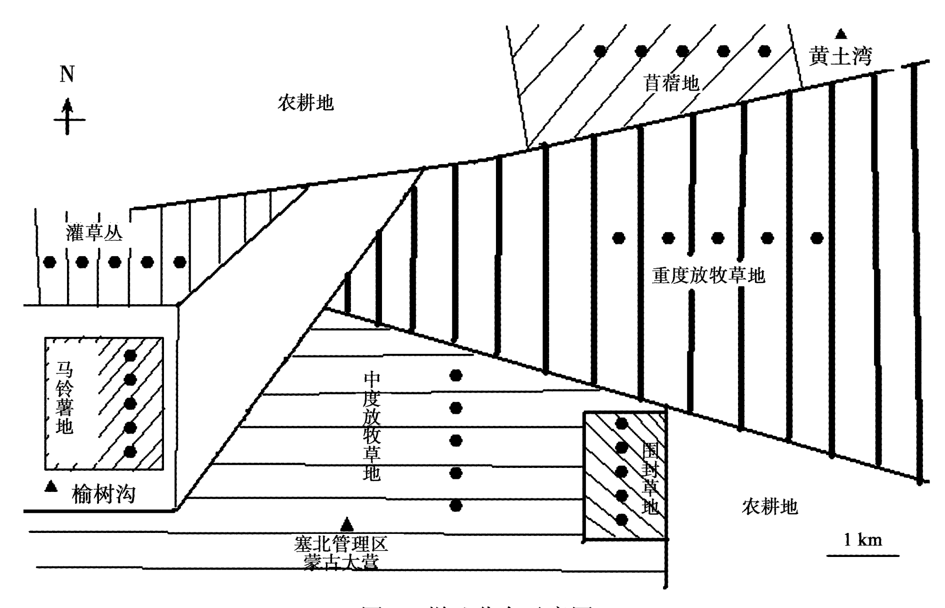


图 1　样地分布示意图

Fig. 1　Distribution of sampling transects

灌草丛：Shrub meadow；马铃薯地：Potato land；苜蓿地：Clover field；重度放牧草地：Heavily grazed meadow；中度放牧草地：Moderately grazed meadow；围封草地：Enclosed meadow；农耕地：Agricultural land；黄土湾：Huangtuwan；榆树沟：Yushugou；蒙古大营：Menggudaying.

2009 年 5 – 10 月，以巴氏罐诱法进行抽样调查(Martin, 1977)，具体为：用塑料杯(高 9 cm，口径 7.15 cm)作为诱罐，杯壁上方 1/4 处打一小孔，引诱剂为醋、糖、医用酒精和水的混合物，重量比为 2∶1∶1∶20，每个诱杯内放引诱剂 40 ~ 60 mL(于晓东等, 2001)，放置诱杯时间平均为 10 d 左右。将每个样方内 5 个采样点的 5 个诱杯的捕获结果合并，作为 1 个收集单位，携带回实验室，制成针插标本，并添加采集标签，进行分类鉴定和数量统计。所有标本由中国科学院动物研究所的梁红斌副研究员帮助鉴定。

2.2 环境变量的测定

每隔 10 d 利用便携式土壤温湿度测定仪对每种利用方式的各样方土壤含水量、土温(5 cm)进行测量。为避免由于草本植物的季节变化造成的误差，试验中期(2009 年 8 月)在各样带内随机设 5 个 1 m × 1 m 的样方，对各样带内的植物物种数、密度、盖度、生物量(干重)进行调查。

2.3 数据处理

依据如下方法进行群落分析(马克平和刘玉明, 1994)。

甲虫活动密度：每个样方内 5 个诱杯所捕获的甲虫个体数与样方面积的比值，样方面积 50 m^2；Margalef 丰富度指数：$D = (S-1)/\ln N$；Simpson 优势度指数：$C = \sum_{i=1}^{s} p_i^2$，($p_i = n_i/N$)；Shannon-Wiener 信息多样性指数：$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \ln P_i$；Pielou 均匀度指数：$E = H'/H'_{max}$，($H'_{max} = \ln S$)。上述公式中的 S 代表类群数，N 为群落总个体数，p_i 为类群 i 个体数占群落总个体数的比率，H'_{max} 为最大多样性。

步甲物种数据基本符合正态分布，采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析方法(One-factor Anova)和最小显著差法(Least Significant Difference)对不同利用方式土地中的步甲物种数据进行显著性检验；以步甲种类的发生情况为数据，对土地利用方

式进行欧氏距离聚类分析。所有环境数据利用 Canoco4.5 分析软件进行标准化处理(Hájek *et al*., 2002),对步甲群落组成与环境因子的关系采用典范对应分析(Canonical Corresponding Analysis)。利用 Excel 和 Canodraw4.0 作图软件进行作图。

3 结果

3.1 不同土地利用方式下步甲群落组成及分布

本次调查共采集步甲标本 10 804 号,计 18 种(表 1)。其中强足通缘步甲 *Pterostichus fortipes* 的个体数量占总数的 67.5%,为本地区步甲科的优势种;侧步甲 *Carabus latreillei* 和双斑猛步甲 *Cymindis binotata* 的个体数量也分别达到总数的 7.53% 和 7.06%,是本地区的丰盛种;宽步甲 *Platynus* sp.、谷婪步甲 *Harpalus calceatus*、广胸婪步甲 *H. amplicollis*、黄鞘婪步甲 *H. pallidipennis*、齿星步甲 *Calosoma denticolle* 的个体数量占总数的比例在 1% ~5% 之间,是常见种;短胸暗步甲 *Amara brevicollis*、暗步甲 *A. majuscula* 等各占总个体数的比例均小于 1%,是稀有种。

从表 1 可以看出,不同土地利用方式生境中步甲物种数和优势种、丰盛种组成不同。灌草丛、马铃薯地和苜蓿地的步甲物种数均为 15 种,而且优势种均为强足通缘步甲 *P. fortipes*,马铃薯地的优势种还有侧步甲 *C. latreillei*。双斑猛步甲 *C. binotata* 和黄鞘婪步甲 *H. pallidipennis* 是灌草丛的丰盛种;苜蓿地的丰盛种分别为双斑猛步甲 *C. binotata*、宽步甲 *Platynus* sp.、谷婪步甲 *H. calceatus*。围封草地有 14 种步甲,强足通缘步甲 *P. fortipes* 是其优势种。

表 1 河北坝上不同土地利用方式生境中步甲群落组成和分布

Table 1 Composition and spatial distribution of carabid beetles communities in habitats under different land uses in Bashang, Hebei Province

种类 Species	个体数 Number of individuals						总个体数 Total number of individuals	比例(%) Percentage
	灌草丛 Shrub meadow	中度放牧草地 Moderately grazed meadow	马铃薯地 Potato land	苜蓿地 Clover field	围封草地 Enclosed meadow	重度放牧草地 Heavily grazed meadow		
短胸暗步甲 *Amara brevicollis*	5	0	0	16	0	0	21	0.19
暗步甲 *Amara majuscula*	2	5	2	17	0	0	26	0.24
齿星步甲 *Calosoma denticolle*	5	2	39	268 *	12	0	326	3.02
暗星步甲 *Calosoma lugens*	0	0	0	0	2	0	2	0.02
Carabus glyptopterus	0	0	2	1	44	0	47	0.44
粒步甲 *Carabus granulatus*	0	1	0	0	0	0	1	0.01
克步甲 *Carabus kruberi*	3	0	18	2	10	5 *	38	0.35
侧步甲 *Carabus latreillei*	54	0	748 **	0	12	0	814	7.53
双斑猛步甲 *Cymindis binotata*	198 *	254 *	27	225 *	35	24 **	763	7.06
赤胸长步甲 *Dolichus halensis*	9	0	80	3	0	0	92	0.85
广胸婪步甲 *Harpalus amplicollis*	11	38	76	33	4	3	165	1.53
谷婪步甲 *Harpalus calceatus*	45	21	35	159 *	13	0	273	2.53
巨胸婪步甲 *Harpalus macronotus*	14	13	13	47	10	1	98	0.91
黄鞘婪步甲 *Harpalus allidipennis*	172 *	92	38	32	8	22 **	364	3.37
宽步甲 *Platynus* sp.	9	63	4	295 *	1	22 **	394	3.65
皱翅伪葬步甲 *Pseudotaphoxenus rugipennis*	5	3	3	3	38	0	52	0.48
强足通缘步甲 *Pterostichus fortipes*	769 **	1 762 **	1 319 **	1 359 **	2 064 **	19 *	7 292	67.5
弯步甲 *Reflexiphodrus refleximargo*	0	1	1	15	19	0	36	0.33
总计 Total	1 301	2 255	2 405	2 475	2 272	96	10 804	100

* 丰盛种 Subdominant species; ** 优势种 Dominant species.

中度放牧草地和重度放牧草地的步甲分别有 12 和 11 种，前者的优势种和丰盛种分别是强足通缘步甲 *P. fortipes* 和双斑猛步甲 *C. binotata*；后者的优势种为双斑猛步甲 *C. binotata*、宽步甲 *Platynus* sp.、黄鞘婪步甲 *H. pallidipennis*，丰盛种为强足通缘步甲 *P. fortipes* 和克步甲 *Carabus kruberi*。

3.2　不同土地利用方式生境下的步甲多样性

计算并比较不同土地利用方式生境下步甲活动密度、物种丰富度和多样性指数得到表 2。步甲活动密度最高的是苜蓿地，其次是马铃薯地，重度放牧草地的步甲密度最低。6 种土地利用方式生境之间，中度放牧草地、马铃薯地、苜蓿地、围封草地间的密度差异不显著($P>0.05$)，而灌草丛与上述土地利用方式生境之间的差异显著($P<0.05$)，与重度放牧草地之间的差异则极显著($P<0.01$)。

步甲群落的物种丰富度仍以苜蓿地最高，马铃薯地次之，重度放牧草地最低。除灌草丛和围封草地与马铃薯地的差异不显著($P>0.05$)外，其余利用方式生境之间的差异均达显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。

Margalef 丰富度指数从高到低依次是：苜蓿地 > 灌草丛 > 马铃薯地 > 围封草地 > 重度放牧草地 > 中度放牧草地，前 4 者之间差异不显著($P>0.05$)，但它们与中度放牧草地的差异均达显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。

苜蓿地的 Shannon-Wiener 多样性指数较高，与中度放牧草地和围封草地差异极显著($P<0.01$)，但其均匀度指数相对较低，与中度放牧草地差异极显著($P<0.01$)，与围封草地则无显著差异($P>0.05$)。围封草地的均匀度和优势度较高，Shannon-Wiener 多样性指数较低，优势度与其余 5 种利用方式生境均呈极显著差异($P<0.01$)。

表 2　不同土地利用方式生境中步甲活动密度、物种丰富度和多样性指数

Table 2　Activity density, species richness and diversity index of carabid beetle communities in habitats under different land uses in Bashang, Hebei Province

	灌草丛 Shrub meadow	中度放牧草地 Moderately grazed meadow	马铃薯地 Potato land	苜蓿地 Clover field	围封草地 Enclosed meadow	重度放牧草地 Heavily grazed meadow
活动密度(*AD*) Activity density	5.20 ±0.92 b	9.00 ±1.14 c	9.60 ±2.1 c	9.90 ±0.97 c	9.10 ±1.16 c	0.38 ±0.12 a
种丰富度(*R*) Species richness	10.20 ±0.37 c	7.80 ±0.66 b	11.00 ±0.45 cd	12.00 ±0.55 d	10.20 ±0.20 c	4.80 ±0.37 a
丰富度指数(*D*) Margalef richness index	1.68 ±0.11 b	1.12 ±0.12 a	1.67 ±0.1 b	1.78 ±0.10 b	1.52 ±0.05 b	1.39 ±0.12 ab
多样性指数(H') Shannon-Wiener diversity index	1.31 ±0.06 c	0.81 ±0.09 b	1.24 ±0.1 c	1.50 ±0.12 c	0.52 ±0.10 a	1.40 ±0.06 c
均匀度指数(*E*) Pielou evenness index	4.29 ±0.11 b	3.35 ±0.23 a	3.60 ±0.32 a	4.61 ±0.16 bc	5.03 ±0.50 bc	3.88 ±0.20 ab
优势度指数(*C*) Simpson dominance index	0.40 ±0.02 b	0.62 ±0.05 c	0.40 ±0.02 b	0.35 ±0.04 a	0.8 ±0.04 d	0.27 ±0.02 a

同行数据(平均值±标准误)间不同上标字母表示差异显著($P<0.05$)。The means (±*SE*) with different small letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$).

3.3　步甲群落在不同土地利用方式下的相似性分析

以不同土地利用方式中步甲种类的发生情况为数据，进行欧氏距离聚类分析，得到图 2。从图中可以看出，中度放牧和干扰适中的围封草地为一类，灌草丛离居民区较近，受干扰程度较强，故而与重度放牧草地相似性较高。马铃薯地和苜蓿地由于管理方式不同，受干扰程度不同，各自为一个分支。结果表明不同利用方式土地中的步甲群落相似性与干扰程度有关。

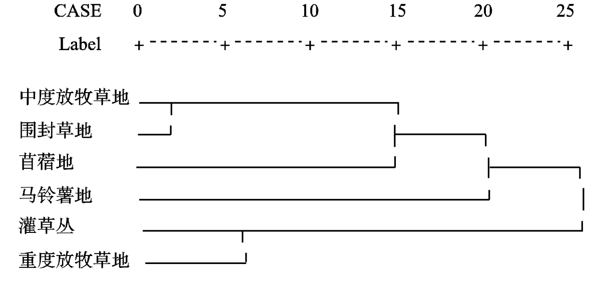


图 2　不同土地利用方式生境中步甲群落的聚类分析(欧氏距离)

Fig. 2　Dendrogram of cluster analysis of carabid beetle communities in habitats under different land uses (Euclidean distance)

灌草丛：Shrub meadow；马铃薯地：Potato land；苜蓿地：Clover field；重度放牧草地：Heavily grazed meadow；中度放牧草地：Moderately grazed meadow；围封草地：Enclosed meadow.

3.4　主要优势物种的季节变化

从图 3 可以看出，强足通缘步甲分布广、出现时间长，高峰期大多出现在 7 月，仅围封草地内的

高峰出现在 8 月。双斑猛步甲出现时间较长，在灌草丛内高峰期出现在 7 月，马铃薯地和重度放牧草地内峰值在 9 月，中度放牧草地、苜蓿地和围封草地内的峰值在 8 月。宽步甲 *Platynus* sp. 的数量高峰大多出现在 7、8 月，但马铃薯地在 9 月达峰值。谷婪步甲在重度放牧草地以外的其余样地均有分布，大多 8 月达高峰，仅中度放牧草地的峰值出现在 7 月。黄鞘婪步甲的峰值基本也在 8 月。7 月，侧步甲在中度放牧、重度放牧和苜蓿地分布较少，马铃薯地内的数量最多。齿星步甲除在重度放牧地分布很少外，其余均有分布，峰值大多出现在 7 月，马铃薯地则在 8 月达最高峰。由此可知，不同步甲种类在不同土地利用方式生境内的季节变化趋势均有所差异。

◆ 双斑猛步甲 *Cymindis binotata*；■ 强足通缘步甲 *Pterostichus fortipes*；▲ 宽步甲 *Platynus* sp.；× 谷婪步甲 *Harpalus calceatus*；◇ 黄鞘婪步甲 *Harpalus pallidipennis*；— 侧步甲 *Carabus latreillei*；△ 齿星步甲 *Calosoma denticolle*

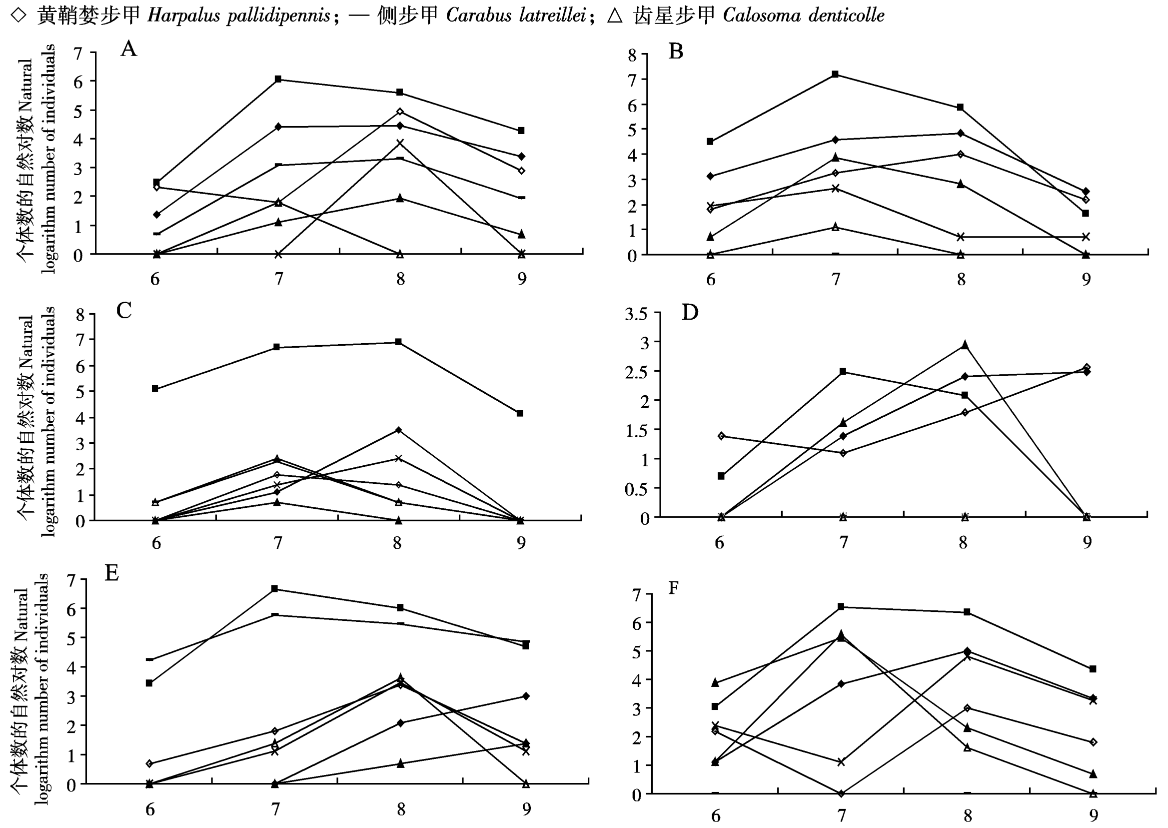


图 3　河北坝上不同土地利用方式生境中主要优势步甲类群的季节变化曲线

Fig. 3　The seasonal curve of the main advantages of carabid beetle in habitats under different land uses in Bashang, Hebei

A：灌草丛 Shrub meadow；B：中度放牧草地 Moderately grazed meadow；C：围封草地 Enclosed meadow；D：重度放牧草地 Heavily grazed meadow；E：马铃薯地 Potato land；F：苜蓿地 Clover field.

3.5　步甲群落组成与环境因子的典范对应分析

在 6 种不同土地利用方式生境下的 30 个样方中，步甲群落组成与 8 个环境因子的 CCA 排序结果见图 4。第一、第二排序轴的特征值分别为 0.271 和 0.134，达到总特征值(0.748)的 54.2% 和总典范分析特征值(0.460)的 88.1%，而且物种和环境因子排序轴间的相关系数分别为 0.934 和 0.895，2 个种类排序轴接近垂直(相关系数 0.0518)，2 个环境排序轴的相关系数为 0，表明排序结果可靠，能够较好地反映步甲群落组成变化与 8 个环境因子的关系。

第一排序轴与植物物种数、土壤含水量和植物多样性指数呈很强的正相关，其次为植物生物量，相关系数分别为 0.3889，0.3686，0.1973 和 0.0672。植株高度、土壤温度和植物盖度与第一排序轴呈负相关，相关系数分别为 −0.8180，−0.7486和 −0.2625。第二排序轴与植株高度、植物盖度呈正相关，与土壤温度、植物密度呈负相关，其相关系数依次为 0.3971，0.1535，−0.4677 和 −0.2860。

依据 CCA 排序结果，中度放牧草地(样方 6 ~ 10)和围封草地(样方 21 ~ 25)大部分重叠，反映了两者之间有较高的相似性。30 个样方在 CCA 排序

结果中的分布与按步甲群落数量特征对土地利用方式的聚类分组呈明显的对应关系。表明土地的不同利用方式生境对步甲群落组成分布具有综合影响，重要环境影响因子为土壤含水量、土壤温度、植物盖度、植物生物量及植株高度。

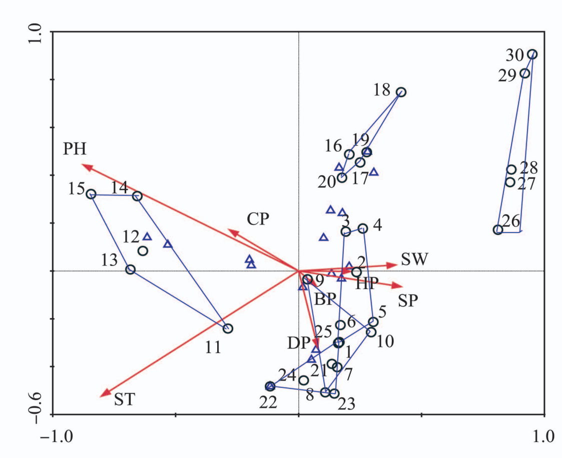


图 4　河北坝上 30 个样方步甲群落与 8 个环境因子的 CCA 排序图

Fig. 4　Canonical correspondence analysis (CCA) ordination performed on carabid beetle communities and eight environmental factors in 30 sampling sites in Bashang, Hebei

○：样方 Sample；△：物种 Species；SP：植物物种数 Plant species number；HP：植物群落多样性指数 Shannon-Wiener diversity index of plant community；DP：植物密度 Plant density；CP：植物盖度 Plant coverage；BP：植物生物量 Plant biomass；SW：土壤含水量 Soil water content；PH：植株高度 Plant height；ST：土壤温度 Soil temperature；1－5：灌草丛 Shrub meadow；6－10：中度放牧草地 Moderately grazed meadow；11－15：马铃薯地 Potato land；16－20：苜蓿地 Clover field；21－25：围封草地 Enclosed meadow；26－30：重度放牧草地 Heavily grazed meadow.

4　讨论

不同土地利用方式生境中步甲群落的组成和分布不同，强足通缘步甲 *P. fortipes* 在生境较好的土地利用方式中是群落中的优势种，而在干扰活动比较频繁的重度放牧草地中则为丰盛种。干扰可以提高物种多样性（Levin and Paine，1974），但干扰频度和程度过高或过低都不利于提高物种多样性，而小规模中等程度的干扰能极大地提高物种多样性（Rosenzweig，1995），本研究结果为这一假说提供了支持证据。在 6 种不同的土地利用方式生境中，重度放牧草地承受牲畜的采食压力和践踏，干扰强度很高，步甲物种丰富度和个体数量偏低，这与 Kotze 和 Samways（1999）对南非步甲的研究结果相似。中度放牧、围封草地和苜蓿地由于受干扰程度较小，植物物种比较丰富，为步甲提供了良好的栖息场所，故而步甲物种和个体数量相对较多。对不同利用方式土地的聚类分析也表明这一点，干扰强度小，植物物种丰富的中度放牧草地、围封草地为一类，干扰强度大的重度放牧草地和灌草丛为另一类。

不同土地利用方式生境对步甲物种多样性影响十分明显。重度放牧草地由于人为干扰十分严重，步甲物种丰富度、均匀度指数均较低；苜蓿地由于人为干扰比较少，步甲活动密度、种丰富度、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数均较高，但优势度指数较低，可能由某种优势种数量较多导致；围封草地几乎没有人干扰，步甲群落组成丰富，但由于强足通缘步甲 *P. fortipes* 的优势度较高，导致 Shannon-Wiener 多样性指数较低而优势度指数较高，充分说明物种多样性与干扰程度有关。

湿度、温度、地表覆盖物及演替阶段等环境因素已被证明可影响步甲的分布。周红章等（2000）的研究结果表明，生境类型影响甲虫的数量分布。Lövei 和 Sunderland（1996）认为温度决定步甲的季节性活动规律。Epstein 和 Kulman（1990）的研究也表明，环境湿度及与湿度相关的其他环境因素影响了步甲物种的分布和栖息地的选择。Clark 等（1997）在农田景观研究中指出，步甲常见种之间的相关关系反映了这些物种对栖息地的选择和农业管理措施的行为反应，与栖息地类型密切相关。朱新玉等（2007）研究认为，河北北部森林-草原交错带的土壤温度和含水量与节肢动物的个体数关联度大。本研究对步甲群落组成与 8 个环境因子进行的典范对应相关分析（CCA）也表明，土壤含水量、土壤温度、植物盖度、植物生物量及植株高度是影响步甲群落组成的重要环境因子。

坝上地区毗邻京津，是京津的上风向和水源地，该地区物种多样性及生态环境的变化应引起足够的重视。从本文可以看出，该地区物种多样性受到土地利用方式、植被类型和干扰程度等多种因素的影响，受干扰程度相对较少，植物物种比较丰富的中度放牧草地有利于步甲多样性以及生态环境的保护。因此进行生态恢复时，控制人为干扰，采取相应的可持续土地利用方式为昆虫提供多样化和可持续性的栖息场所，不仅可以恢复坝上地区的生态环境，保护物种多样性，还可以提高土地生产力、降低生产风险、保护自然资源。

致谢　中国科学院动物研究所的梁红斌副研究员帮助鉴定步甲种类，河北大学生命科学学院外教 Jomo

MacDermot 博士润色英文摘要，塞北管理区的张淑林在野外调查工作时给予了热情帮助，在此表示衷心感谢！

参 考 文 献 (References)

Brust GE, Stinner BR, McCartney DA, 1986. Predator activity and predation in corn agroecosystems. *Environmental Entomology*, 15 (5): 1017 – 1021.

Chen LZ, 1993. Current Status and Conservation Strategy of Biodiversity in China. Science Press, Beijing. 164 – 205. [陈灵芝, 1993. 中国的生物多样性: 现状及其保护对策. 北京: 科学出版社. 164 – 205]

Clark MS, Gage SH, Spence JR, 1997. Habitats and management associated with common ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a Michigan agriculture landscape. *Environmental Entomology*, 26 (3): 519 – 527.

Epstein ME, Kulman HM, 1990. Habitat distribution and seasonal occurrence of carabid beetles in east-central Minnesota. *American Midland Naturalist*, 123(2): 209 – 225.

Hájek M, Hekera P, Hájková P, 2002. Spring fen vegetation and water chemistry in the Western Carpathian flysch zone. *Folia Geobotanica*, 37(2): 205 – 224.

Hu DX, Yu ZR, Han CR, He JH, Paoletti MG, 1998. Community structure of carabids and spiders in agriculture landscape in Qian Jiang, Hubei Province. *Acta Entomologica Sinica*, 41(Suppl.): 91 – 97. [胡敦孝, 宇振荣, 韩纯儒, 何家海, Paoletti MG, 1998. 湖北潜江农田景观中步甲和蜘蛛的群落结构. 昆虫学报, 41 (增刊): 91 – 97]

Jennings DT, Houseweart MW, Dunn GA, 1986. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) associated with strip clearcut and dense spruce-fir forests of Maine. *The Coleopterists Bulletin*, 40(3): 251 – 263.

Kotze DJ, Samways MJ, 1999. Invertebrate conservation at the interface between the grassland matrix and natural Afromontane forest fragments. *Biodiversity and Conservation*, 8(10): 1339 – 1363.

Lenski RE, 1982a. The impact of forest cutting on the diversity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in southern Appalachians. *Ecological Entomology*, 7(4): 385 – 390.

Lenski RE, 1982b. Effects of forest cutting on two *Carabus* species: evidence for competition for food. *Ecology*, 63(5): 1211 – 1217.

Levin SA, Paine RT, 1974. Disturbance, patch formation, and community structure. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 71(7): 2744 – 2747.

Li CF, Gao JF, Cao H, 2002. Current situation and tendency of research on impacts of land use changes on water resource. *Soil*, 34(4): 191 – 193. [李昌峰, 高俊峰, 曹慧, 2002. 土地利用变化对水资源影响研究的现状和趋势. 土壤, 34(4): 191 – 193]

Lövei GL, Sunderland KD, 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology*, 41: 231 – 256.

Ma KP, Liu YM, 1994. Measurement of biotic community diversity I: α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*, 2(4): 231 – 239. [马克平, 刘玉明, 1994. 生物群落多样性的测度方法 I: α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 2(4): 231 – 239]

Martin JEH, 1977. The Insects and Arachnids of Canada. Part 1. Collecting, Preparing and Preserving Insects, Mites and Spiders. Agriculture Canada, Ottawa. 13 – 27.

Rainio J, Niemelä J, 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12(3): 487 – 506.

Rosenzweig ML, 1995. Species Diversity in Space and Time. Cambridge University Press, Cambridge. 127 – 156.

Wang Y, Gao GC, Fu BQ, Wu Z, 2009. Composition and spatial distribution pattern of ground-dwelling beetle communities in Yeyahu Wetland, Beijing. *Biodiversity Science*, 17(1): 30 – 42. [王玉, 高光彩, 付必谦, 吴专, 2009. 北京野鸭湖湿地地表甲虫群落组成与空间分布格局. 生物多样性, 17(1): 30 – 42]

Xu DR, Sun LM, Hu JH, 2006. Effects of land use change on the agricultural water and soil resources of Bashang area in Hebei province. *Henan Agricultural Science*, (1): 68 – 72. [徐东瑞, 孙丽敏, 胡景辉, 2006. 土地利用变化对河北坝上农业水土资源的影响. 河南农业科学, (1): 68 – 72]

Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2002. Composition and seasonal dynamics of litter-layer beetle community in the Dongling Mountain region, North China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 785 – 793. [于晓东, 罗天宏, 周红章, 2002. 东灵山地区地表甲虫群落组成及季节变化. 昆虫学报, 45(6): 785 – 793]

Yu XD, Zhou HZ, Luo TH, 2001. Species diversity of litter-layer beetles in Northwest Yunnan Province, Southwest China. *Zoological Research*, 22(6): 454 – 460. [于晓东, 周红章, 罗天宏, 2001. 云南西北部地区地表甲虫的物种多样性. 动物学研究, 22(6): 454 – 460]

Yu XD, Zhou HZ, Luo TH, 2002. Distribution patterns and their seasonal changes of *Carabus* beetles in Dongling Mountain Region near Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 22(10): 1724 – 1733. [于晓东, 周红章, 罗天宏, 2002. 东灵山地区大步甲属物种分布和季节变化的多样性格局. 生态学报, 22(10): 1724 – 1733]

Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, He JJ, Zhou HS, Ye CJ, 2000. Insect abundance and environmental effects in Shennongjia Natural Reserve, Hubei Province. *Chinese Biodiversity*, 8(3): 262 – 270. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 何君舰, 周海生, 叶婵娟, 2000. 湖北神农架自然保护区昆虫的数量变化与环境关系的初步研究. 生物多样性, 8(3): 262 – 270]

Zhu XY, Gao BJ, Bi HM, Wang WX, Yuan SL, HU YC, 2007. Community diversity of soil arthropods in forest-steppe ecotone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18(11): 2567 – 2572. [朱新玉, 高宝嘉, 毕华铭, 王文勋, 袁胜亮, 胡云川, 2007. 森林-草原交错带土壤节肢动物群落多样性. 应用生态学报, 18(11): 2567 – 2572]

(责任编辑: 袁德成)